

FILED**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 11-271820

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
G02F 1/37

(21)Application number : 10-076139

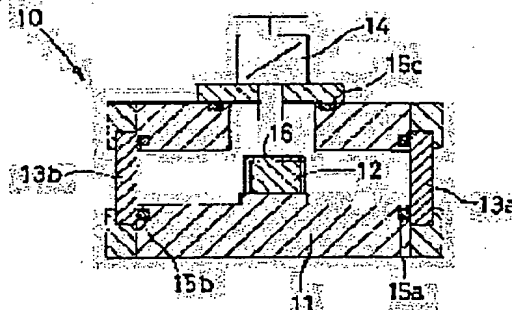
(71)Applicant : RIKAGAKU KENKYUSHO
NIDEK CO LTD

(22)Date of filing : 24.03.1998

(72)Inventor : TASHIRO HIDEO
WADA TOMOYUKI
YAMADA TAKESHI**(54) METHOD AND DEVICE FOR WAVELENGTH CONVERSION USING NONLINEAR OPTICAL ELEMENT, AND LASER SYSTEM****(57)Abstract**

PROBLEM TO BE SOLVED: To stably maintain wavelength conversion characteristics of nonlinear optical crystal for a long period by making laser light incident on cerium lithium borate crystal arranged under a vacuum and performing wavelength conversion.

SOLUTION: The nonlinear optical crystal 12 as a wavelength converting element such as cerium lithium borate crystal is arranged in a metallic vacuum container 11, made of stainless steel, in the wavelength converting device 10. A light beam enters the vacuum container 11 through its input-side optical window 13a having specific transmissivity and has its wavelength converted by interacting with the nonlinear optical crystal 12 and is emitted from the output-side optical window 13b. For the optical windows 13a and 13b, quartz, etc., having no light absorption in a wavelength range of 200 to 3,000 nm is used. A vacuum sealing valve 14 is provided to the upper part of the vacuum container 11. The part formed of the main body of the vacuum container 11, optical windows 13a and 13b, and vacuum sealing valve 14 is sealed with O rings 15a, 15b, and 15c and a vacuum of about 100 to 10⁻² Torr is held in the vacuum container 11.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271820

(43) 公開日 平成11年(1999)10月8日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35
1/37

G 0 2 F 1/35
1/37

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-76139

(22) 出願日 平成10年(1998)3月24日

(71) 出願人 000006792

理化学研究所
埼玉県和光市広沢2番1号

(71) 出願人 000135184

株式会社ニデック
愛知県蒲郡市栗町7番9号

(72) 発明者 田代 英夫

宮城県仙台市青葉区長町字越路19-1399
理化学研究所 フォトダイナミクス研究セ
ンター内

(74) 代理人 弁理士 平木 祐輔 (外1名)

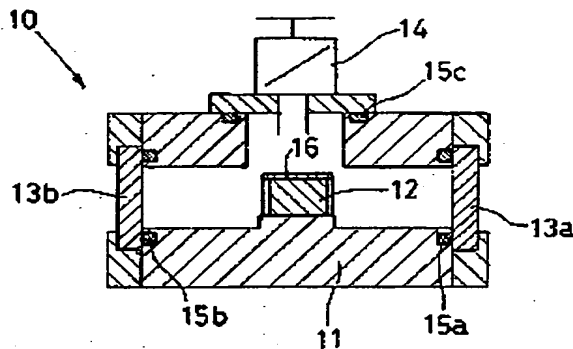
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非線形光学素子を用いた波長変換方法、波長変換装置及びレーザシステム

(57) 【要約】

【課題】 非線形光学結晶の波長変換特性を長期間にわたって安定に維持する。

【解決手段】 一對の光学窓13a、13bを備える真空容器11の内部の、 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ Torr程度の真空雰囲気中に非線形光学素子12としてセシウム・リチウム・ボレート結晶を配置する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空中に配置したセシウム・リチウム・ボレート結晶にレーザ光を入射して波長変換することを特徴とする波長変換方法。

【請求項2】 前記セシウム・リチウム・ボレート結晶は加熱されていることを特徴とする請求項1記載の波長変換方法。

【請求項3】 一對の光学窓を備える真空容器と、前記真空容器内の真空雰囲気中に配置されたセシウム・リチウム・ボレート結晶とを含むことを特徴とする波長変換装置。

【請求項4】 前記セシウム・リチウム・ボレート結晶を加熱する加熱手段が設けられていることを特徴とする請求項3記載の波長変換装置。

【請求項5】 レーザ光源と、請求項3又は4記載の波長変換装置とを含み、前記レーザ光源から発生されたレーザ光の高調波を出力することを特徴とするレーザシステム。

【請求項6】 光源部として請求項5記載のレーザシステムを備え、紫外線によって角膜をアブレーション加工することを特徴とする角膜アブレーション装置。

【請求項7】 前記レーザ光源としてNd:YAG、Nd:YLF又はNd:YVO₄を用い、前記紫外線として波長190~220nmの紫外線を用いることを特徴とする請求項6記載の角膜アブレーション装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、非線形光学素子を用いた波長変換方法、波長変換装置、レーザシステム及びその応用装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、レーザは、金属の切断や加工、半導体製造のためのフォトリソグラフィ装置用光源、超微細加工、外科や眼科あるいは歯科用の各種手術装置、各種の測定装置など種々の技術分野に应用されている。レーザは、そのレーザ媒体の種類によって固体レーザ、ガスレーザ、半導体レーザ等に大別され、大出力レーザとしては希ガスハライド系のエキシマレーザに代表されるガスレーザが主に用いられている。しかし、ガスレーザは動作効率が低い、短寿命である、動作ガスであるF₂ガスが毒性を有する、動作電圧が高い等の様々な問題を有し、これらガスレーザを非線形光学結晶による波長変換を利用した固体レーザへ移行する試みが急速に進められている。

【0003】波長変換に用いられる非線形光学結晶としては、KH₂PO₄ (KDP) 結晶、KTiOPO₄ (KTP) 結晶、β-BaB₂O₄ (BBO) 結晶等が知られている。非線形光学結晶は、どの波長をどのように波長変換するかに応じて選択される。例えば、YAGレーザから出力される波長1064nmを波長532nmに変

換するためにはKD*P結晶、KTP結晶等が用いられ、波長532nmを波長266nmに変換するためにはBBO結晶、KDP結晶等が用いられる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】レーザ光への要求として、光出力に対する要求と共に波長に対する要求がある。例えば、半導体製造装置においてはパターンの線幅が細くなるに従ってフォトリソグラフィ装置用光源として紫外領域の短波長を発生できる光源が要求されるようになっており、またポリマーの分子結合をフォトンエネルギーで切断して加工するレーザアブレーション技術が実用化されるに及んで、強い紫外線を発生することのできる光源の出現が待たれている。例えば、F-F結合を切断するには波長160nm程度の紫外線が必要とされ、Si-O結合を切断するには波長190nm程度の紫外線が必要とされる。また、眼科手術の分野では、角膜表面をレーザアブレーションで加工して近視や遠視を矯正する技術が開発されているが、角膜表面のみをアブレーションして眼球内部に光が入らないようにし、また、医学的に問題のない波長200nm程度の紫外線を使用する必要がある。

【0005】ところで、波長変換によって紫外領域の出力光を得るための非線形光学結晶としてCsLiB₆O₁₂、CsLiMB₆O₁₂ (Mはアルカリ金属元素) に代表されるセシウム・リチウム・ボレート (CLBO) 結晶が特開平8-91997号公報、特開平9-208390号公報に記載されている。このCLBO結晶は、YAGレーザの波長1064nmを、その4倍高調波である波長266nmあるいは5倍高調波である波長213nmに波長変換することが可能であり、波長変換によって紫外領域の短波長光を得るための非線形光学結晶として有望である。

【0006】しかし、本発明者らがこのCLBO結晶を用いてその波長変換特性を調査してみたところ、波長変換特性が経時的に変化する現象が見られ、長期間にわたって所望の波長変換特性を維持することができなかった。このような非線形光学結晶を実際の装置へ適用することを考えると、その波長変換特性は長期間メンテナンスフリーで安定に維持される必要がある。本発明は、波長変換素子として用いられる非線形光学結晶におけるこのような問題を解決するためになされたもので、非線形光学結晶の波長変換特性を長期間にわたって安定に維持することのできる方法及び装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、最初、前記CLBO結晶の波長変換特性が経時的に変化する原因は、CLBO結晶が潮解性を有していて、雰囲気中の水分やその他の不純物が結晶表面に付着することによって結晶の屈折率分布が経時変化するためと考えた。波長変

換特性の変動原因が潮解性にあるとすると、潮解性を有する光学結晶に対してとるべき通常の対策は、①結晶表面にテフロン等の水分を透過しない膜をコーティングする、②窒素ガス、アルゴンガス等、水分を含まないガスを封入したドライセル中に結晶を保持する、③水分が付着しない温度まで結晶を加熱する、のいずれかである。

【0008】そこで、前記①、②、③の方法を試みようとしたところ、CLBO結晶はコーティングを施す技術が確立されていない、ドライセル中に封入すると紫外領域の光に波長変換するとき、CLBO結晶から出射する紫外線がドライセル中のガスと反応を起こして結晶の光学面においてエッチングが起るためドライセルに封入する方法は適当ではない。また流通ルートを考えても常に高温に維持し続けるのは困難である、等の問題があった。

【0009】このような検討を経て、CLBO結晶の波長変換特性を長期間安定に維持するためには、水分とともに雰囲気ガスとの接触も遮断する必要があるとの結論に達し、本発明を完成するに至った。

【0010】すなわち、本発明による波長変換方法は、真空中に配置したセシウム・リチウム・ボレート結晶にレーザ光を入射して波長変換することと特徴とする。セシウム・リチウム・ボレート結晶を配置する真空は、 $10^0 \sim 10^1$ Torr 程度の低真空で充分である。セシウム・リチウム・ボレート結晶とは、化学組成が $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ 、又は $\text{CsLiMB}_6\text{O}_{10}$ 。(Mはアルカリ金属元素)で表される非線形光学結晶をいう。

【0011】セシウム・リチウム・ボレート結晶は、加熱によって結晶中あるいは結晶表面に付着した水分や不純物を解離してから使用するのが好ましいが、加熱後の冷却過程で結晶が割れることがある。これを避けるために、セシウム・リチウム・ボレート結晶を加熱した後、冷却することなく高温状態のまま維持し、高温状態にて使用するようにしてもよい。

【0012】また、本発明による波長変換装置は、一對の光学窓を備える真空容器と、真空容器内の真空雰囲気中に配置されたセシウム・リチウム・ボレート結晶とを含むことを特徴とする。波長変換装置は、装置自体にセシウム・リチウム・ボレート結晶を加熱する加熱手段を備えてもよい。装置自体に加熱手段を内蔵することにより、常時温度を上げた状態にして使用するようにしてもよい。このような使用形態を採用すると、水分や不純物の解離のために結晶を加熱した後の冷却過程を省略し、冷却過程で結晶が破損する危険を回避することができる。

【0013】また、本発明のレーザシステムは、レーザ光源と、前述の波長変換装置とを含み、レーザ光源から発生されたレーザ光の高調波を出力することと特徴とする。

【0014】また、本発明による角膜アブレーション装

置は、光源部として本発明の波長変換装置を用いた前記レーザシステムを備え、紫外線によって角膜をアブレーション加工することを特徴とする。レーザ光源としてはNd:YAG、Nd:YLF又はNd:YVO₄等を用い、紫外線としては波長190~220nmの紫外線を用いるのが好ましい。

【0015】本発明によると、結晶をそれと反応し得ない環境下で使用することができ、また結晶の温度制御により結晶表面に付着した不純物の除去が可能となり、これら非線形光学結晶を長期間安定に使用することが可能となる。なお、本発明はセシウム・リチウム・ボレート結晶以外の非線形光学結晶、例えばKD₂PO₄(DKDP)結晶やKH₂PO₄(KDP)結晶に対しても同様に適用可能である。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。最初に図1を用いて、非線形光学結晶を用いた波長変換について簡単に説明する。非線形性を有する光学結晶にQスイッチレーザのような高密度なレーザ光を入射すると、位相整合条件が成立すれば、結晶の2次の非線形分極を介して図1に略示したような相互作用を行う。位相整合条件とは、入射する光の波数ベクトルと出射する光の波数ベクトルが等しくなることをいい、(a)では $k(\omega) = k(2\omega)$ 、(b)では $k(\omega_1) + k(\omega_2) = k(\omega_3)$ 、(c)では $k(\omega_1) - k(\omega_2) = k(\omega_3)$ 、(d)では $k(\omega_p) = k(\omega_1) + k(\omega_2)$ がそれぞれの場合の位相整合条件である。ただし、波数ベクトル $k(\omega)$ は $\omega \cdot n$ で表され、 ω は各周波数、 n は屈折率である。ここで、(a)を第2高調波発生、(b)を和周波発生、(c)を差周波発生、さらに(d)を光パラメトリック発振という。(a)の第2高調波発生は、(b)の和周波発生過程において $\omega_1 = \omega_2$ の場合に相当する。

【0017】図2は、本発明による波長変換装置の一例を示す概略断面図である。この波長変換装置10は、ステンレス等の金属製の真空容器11の内部に波長変換素子としての非線形光学結晶12、たとえばセシウム・リチウム・ボレート結晶を配置したものである。光線は、所定の透過性を有する入力側の光学窓13aから真空容器10内に入射し、非線形光学結晶12と相互作用して波長変換された後、出力側の光学窓13bから出射する。光学窓13a、13bとしては、200~3000nmの波長範囲に光吸収のない石英、あるいは130~9000nmの波長範囲に光の吸収がないMgF₂を用いるのが好ましい。真空容器11の上部には、真空封止弁14が設けられている。真空容器10の本体と光学窓13a、13b及び真空封止弁14の間は、Oリング15a、15b、15cによって封止されており、真空容器11の内部は $10^0 \sim 10^1$ Torr 程度の真空に維持されている。

【0018】真空容器11の内部における非線形光学結晶12の固定は、例えば固定金具16を用いて、図3に示すように行うことができる。非線形光学結晶12の光入射端と出射端を解放した状態で、固定金具16によって非線形光学結晶12を上部から押さえ、ネジ16a、16bによって真空容器11の底部に固定する。

【0019】非線形光学結晶12としては、CsLiB₃O₆、CsLiMB₃O₆（Mはアルカリ金属元素）に代表されるセシウム・リチウム・ボレート（CLBO）結晶、KD₂PO₄（DKDP）結晶、KH₂PO₄（KDP）結晶などを用いることができるが、ここではCsLiB₃O₆を用いた。

【0020】図4は、非線形光学結晶を真空容器内に真空封止する方法を説明するための図である。図2に示した波長変換装置10をヒーター25の上に配置し、波長変換装置10の真空封止弁14を開けて、真空排気装置20の真空引きライン21を接続する。ヒーター25は、波長変換装置10内部の非線形光学結晶（CLBO結晶）12が150～200℃程度になるように真空容器11の全体を加熱する。ここでは約150℃に加熱した。真空排気装置20のロータリポンプ22及びターボ分子ポンプ23は、真空引きライン21を介して波長変換装置10の真空容器内部を約 1×10^{-7} Torr程度に真空排気する。この150℃、 1×10^{-7} Torrの状態を24時間維持した後、真空封止弁14を閉じて真空容器11を密封する。その後、真空封止弁14から真空引きライン21を取り外し、波長変換装置10は使用可能状態となる。

【0021】図5は、本発明による波長変換装置の他の例を示す縦断面図である。この例の波長変換装置30は、図4に示した波長変換装置に、ヒーター31と温度センサ32を内蔵させたものである。図5において、図4と同等の部分には図4と同じ符号を付して、その詳細な説明を省略する。ヒーター31はカートリッジヒーターであり、真空容器11に設けた槽穴に密着して挿入されている。温度センサ32は、より非線形光学結晶（CLBO結晶）12に近い位置での温度検出をできるように、真空容器11に設けられた槽穴中に密着して挿入されている。

【0022】図5に示した波長変換装置30の真空排気処理は、図4に示したように、波長変換装置30の真空封止弁14を開けて、真空排気装置20の真空引きライン21を接続して行われる。このとき、図4に示したヒーター25は必要ない。真空容器11に設けたヒーター31に通電して波長変換装置30の全体を150℃に加熱しながら、真空排気装置20によって真空容器11の内部を約 1×10^{-7} Torr程度に真空排気する。この150℃、 1×10^{-7} Torrの状態を24時間維持した後、真空封止弁14を閉じて真空容器11を密封する。その後、真空封止弁14から真空引きライン21を

取り外す。

【0023】真空封止弁14から真空引きライン21を取り外した後、ヒーター31への通電を止めて波長変換装置を室温に戻してもよいが、真空排気処理が終了した後もヒーター31へ常時通電しておくようにしてもよい。非線形光学結晶（CLBO結晶）12は、加熱による結晶中あるいは結晶表面に付着した水分や不純物の解離が終わったのち冷却すると、その冷却過程で結晶が割れることがある。CLBO結晶を加熱した後、冷却することなく高温状態のまま維持し、高温状態にて使用するようにすることで冷却によるCLBO結晶の損傷を回避することができる。加熱処理後に結晶を維持する温度は加熱処理温度より低い130～160℃程度としてもよい。

【0024】図6は、本発明によるレーザシステムの一例の模式図である。このレーザシステム40は、YAGレーザ35、3個の波長変換装置10a、10b、10c及び帯域透過フィルタ36からなり、YAGレーザの発振波長1064nmを5倍高調波（波長212.8nm）に波長変換して出力する。波長変換装置10a、10b、10cは、例えば図2に示した波長変換装置とすることができる。

【0025】YAGレーザ35から出力された波長1064nmの光は、波長変換装置10aによる第2高調波発生によって一部が波長532nmに変換される。この波長532nmの光の一部は、さらに波長変換装置10bによる第2高調波発生によって波長266nmに変換される。波長変換装置10cでは、波長266nmの光と波長変換されないで透過してきた波長1064nmの光から和周波発生によって波長212.8nmの光を発生する。フィルタ36は波長212.8nmの光のみを透過する。このレーザシステムの光変換効率は約10～20%と非常に高い。

【0026】図7は、図6に示したレーザシステムを組み込んだ本発明による角膜アブレーション装置の一例の模式図である。レーザシステム40より水平方向に出射された波長212.8nmのレーザビームは、平面鏡41により上方に90°偏向され、平面鏡42で再び水平方向に偏向される。平面鏡42はモータ47によってZ軸方向に平行移動できるようになっている。水平になったレーザビームは、アブレーション領域を限定するアパーチャ43、及び投影レンズ44を通り、平面鏡45によって下方に偏向されて眼球角膜46上に照射される。投影レンズ44に対してアパーチャ43と眼球角膜46は共役な位置関係になっており、アパーチャ43で限定した領域が眼球角膜46の上に結像し、アブレーション領域が限定される。眼球角膜46は、装置に対して所定の位置関係となるように予め位置決めされている。

【0027】制御装置49は、入力装置50から入力された設定データに基づいて、レーザシステム40中のY

AGレーザ、アパーチャ43を駆動するアパーチャ駆動装置、平面鏡42を駆動するモータ47のモータドライバへ指令して装置各部を制御する。モータ47の回転位置はロータリエンコーダ48の出力により監視される。本発明のレーザシステム40は、このシステムによって発生される波長190～220nmの紫外線は、角膜表面で吸収されて眼球内部に進入することがなく、またDNAへの影響も少ないことから、角膜アブレーション装置用の光源として好適である。なお、角膜アブレーション装置の詳細については、特開平5-220189号公報、特開平6-189999号公報、特開平6-114083号公報等に記載されている。

【0028】

【発明の効果】本発明によると、非線形光学結晶の波長変換特性を長期間にわたって安定して維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】非線形光学結晶を用いた波長変換について説明する図。

【図2】本発明による波長変換装置の一例を示す概略断面図。

10

*

*【図3】非線形光学結晶の固定方法の一例を示す図。

【図4】非線形光学結晶を真空容器内に真空封止する方法を説明するための図。

【図5】本発明による波長変換装置の他の例を示す概略断面図。

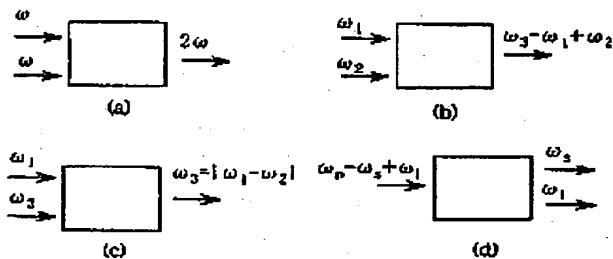
【図6】本発明によるレーザシステムの一例の模式図。

【図7】本発明による角膜アブレーション装置の一例の模式図。

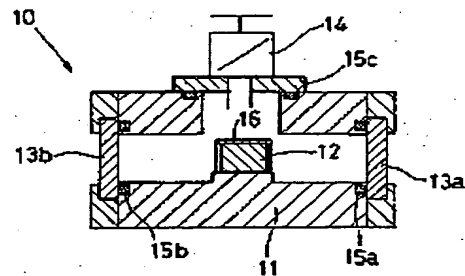
【符号の説明】

10、10a、10b、10c…波長変換装置、11…真空容器、12…非線形光学結晶、13a、13b…光学窓、14…真空封止弁、15a、15b、15d…Oリング、16…固定金具、16a、16b…ネジ、20…真空排気装置、21…真空引きライン、22…ロータリポンプ、23…ターボ分子ポンプ、25…ヒーター、30…波長変換装置、31…ヒーター、32…温度センサ、35…YAGレーザ、36…フィルタ、40…レーザシステム、41、42、45…平面鏡、43…アパーチャ、44…投影レンズ、46…眼球角膜、47…モータ、48…ロータリエンコーダ、49…制御装置、50…入力装置

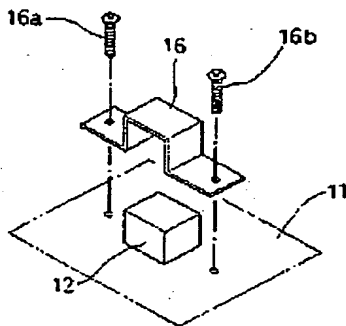
【図1】



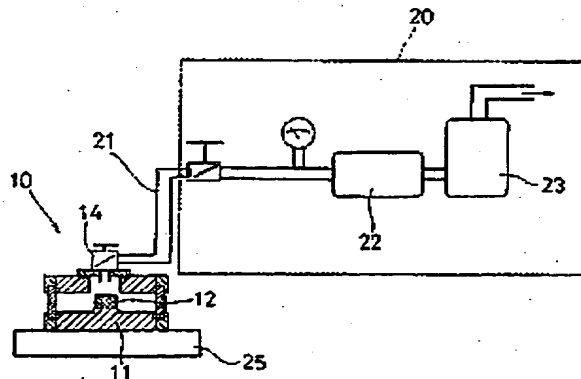
【図2】



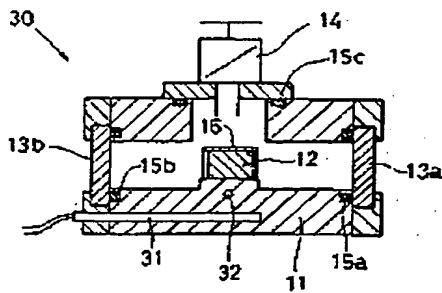
【図3】



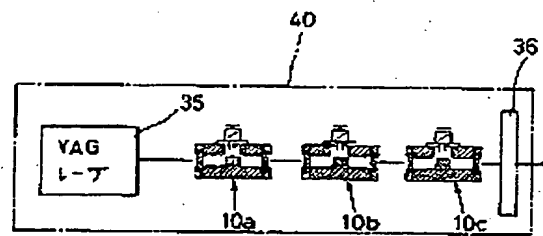
【図4】



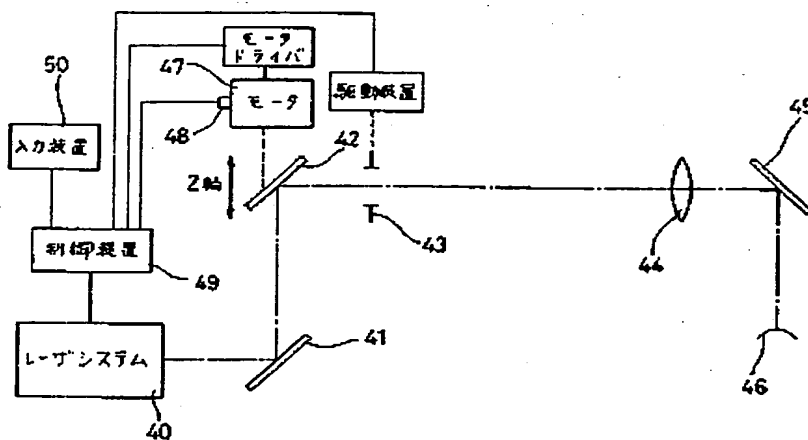
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 和田 智之
宮城県仙台市青葉区長町字越路19-1399
理化学研究所 フォトダイナミクス研究セ
ンター内

(72)発明者 山田 毅
愛知県蒲郡市給石町前浜34-14 株式会社
ニデック給石工場内